

W1204



JP11045919

Biblio

Pag 1

Drawing

**esp@cenet****MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATE**

Patent Number: JP11045919  
Publication date: 1999-02-16  
Inventor(s): ONO MAKOTO; NAKAJIMA TATSUYA; MIYAZAKI ISAO; KOMA MASAKI; GO NAOKI  
Applicant(s): HITACHI LTD  
Requested Patent: ☐ JP11045919  
Application Number: JP19970198219 19970724  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L21/66; G01N21/88; G06T7/00  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To manufacture a semiconductor substrate of high quality at high yield, by early finding an abnormal situation from failure data obtained by inspecting with an inspection device, to significantly reduce defects in manufacturing.

**SOLUTION:** Inspected failure position data 101, 102 and 103 on each semiconductor substrate are specified on the coordinate of image data comprising lattice pixels set on the semiconductor substrate, and the number of failures are added for each lattice pixel on the coordinate of specified image data for a plurality of semiconductor substrates, and failure distribution image data 111, 112 and 113 indicated with variable density values are prepared. Then, the prepared failure distribution image data is displayed on a display means, and a condition for generating failures on the semiconductor substrate is grasped based on the displayed failure distribution image data.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

特開平11-45919

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月16日

(5) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
H 01 L 21/06		H 01 L 21/06 J
		A
		Z
G 01 N 21/08		E
G 06 F 7/00		4 05 A
審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 23 頁)		

(21) 出願番号	特開平9-198219	(71) 出願人	00005108 株式会社日立製作所
(22) 出願日	平成9年(1997) 7月24日	(72) 発明者	小野 良 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 東京都小平市上水本町五丁目20番1号株式会社日立製作所半導体事業部内 中島 龍也 東京都小平市上水本町五丁目20番1号株式会社日立製作所半導体事業部内 宮崎 功 東京都小平市上水本町五丁目20番1号株式会社日立製作所半導体事業部内
		(74) 代理人	弁理士 高橋 明夫 (外1名) 最終頁に続く

## (54) 【発明の名称】 半導体基板の製造方法

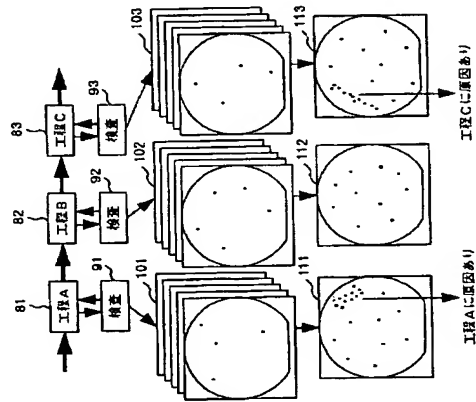
(57) 【要約】

(修正有)

【課題】 検査装置で検査されて得られる不良データから異常事態を早期に見付けて、不良の作り込みを著しく低減して半導体基板を高歩留まりで、且つ高品質で製造できるようにする。

【解決手段】 検査された各半導体基板の不良の位置データ101、102、103を、半導体基板上に対して設定された格子状の面素からなる画像データ111、112、113を作成する不良分布画像データ111、112、113を作成する不良分布画像データ作成工程と、表示された不良分布画像データに基づいて半導体基板に不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有する。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の製造工程を経て半導体基板を製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造工程で製造された複数の半導体基板について各半導体基板上に発生した不良の位置を検査装置で検査する検査工程と、該検査工程で検査された各半導体基板上の不良の位置データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項2】 複数の製造装置から構成される製造ラインにおいて、前記所望の製造装置で製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造装置で製造された複数の半導体基板について各半導体基板上に発生した不良の位置を検査装置で検査する検査工程と、該検査工程で検査された各半導体基板上の不良の位置データを用いて、前記所望の製造装置で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項3】 複数の製造工程を経て半導体基板を製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造工程で製造された複数の半導体基板について各半導体基板上に発生した不良の位置を検査装置で検査する検査工程と、該検査工程で検査された各半導体基板上の不良の位置データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項4】 複数の製造装置から構成される製造ラインにおいて、前記所望の製造装置で製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造装置で製造された複数の半導体基板について各半導体基板上に発生した不良の位置を検査装置で検査する検査工程と、該検査工程で検査された各

半導体基板上の不良の位置データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項5】 複数の製造工程を経て半導体基板を製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造工程で製造された複数の半導体基板について各半導体基板上に発生した不良の位置を検査装置で検査する検査工程と、該検査工程で検査された各半導体基板上の不良の位置データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項6】 複数の製造装置から構成される製造ラインにおいて、前記所望の製造装置で製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造装置で製造された不良分布画像データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項7】 複数の製造工程を経て半導体基板を製造する半導体基板の製造方法において、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを用いて、前記所望の製造工程で製造された不良分布画像データを作成する不良分布画像データ作成工程と、該不良分布画像データに基づいて半導体基板上における不良の発生状態を把握する不良発生状態把握工程とを有することを特徴とする半導体基板の製造方法。

w/20x  
特開平11-45919  
(2)









全数検査が助られた（サンプリングされた）各半導体ウエハについての検査装置 9 2（4 1、4 2）において検査されて得られる各欠陥（異物およびパターン缺陷等）の重心位置を示すように、この抽出された各欠陥の重心位置を、図 3 に抽出し、格子状の画像データ上に位置指定して不良位置データ a（同じ格子状の画像に存在する欠陥の回数に同じ値を示す。）1 0 2 を求める。なお、検査装置 9 2（4 1、4 2）からは、不良位置データ b 1 0 1 も検出する可能性がある、で、不良位置データ b 1 0 2 から不良位置データ a 1 0 1 を消去する必要がある。次に、異物/外観検査システム 5 1 は、製造工程 B 8 2 において抜き取られた各半導体ウエハについての不良位置データ b 1 0 2 を複数の半導体ウエハについて、図 4 および図 5 に示すように、同じ座標位置を示す面数毎に値（欠陥の回数を示す値）を加算すること、製造工程 B 8 2 における不良分布画像データを作成し、この作成された不良分布画像データを、該不良分布画像データにおける面数ごとの数値を該値に交換することによって不良分布画像データ 1 1 2 に変換し、これら交換された不良分布画像データ 1 1 2 を、ディスプレイ毎の表示手段 5 1 a または 6 1 a に出力する。

【0022】103は、製造工程C83において製造された多数の半導体ウエハから、例えばロット単位に抜き取られた（サンプリングされた）または特定のロットに属する（サンプリングされた）半導体ウエハのうち、いくつか抜き取られた（サンプリングされた）各半導体ウエハについての検査装置93（41、42）において検査された検査された各欠陥（異物およびパターン欠陥等）の重心位置を、図3に示すように、格子状の画像データ上に座標指定して得られた不良位置データc（同じ格子状の画素に存在する欠陥の回数に基じた値を示す。）を算出する。ただし、不良位置データc103には、不良位置データa101およびb102が除かれて示す。

いる。即ち、図13に示す異物/外観取集システム511は、製造工程C83において製造された多数の半導体ウエハから、例えばロット単位に抜き取られては全数抜き取り検査（サンプリング）または特定のロット単位については全数抜き取り検査（サンプリング）された（図13）各半導体ウエハについて、図14の検査装置93（41、42）において検査されて得られる各欠陥（異物およびパターン欠陥等）の重心位置を抽出し、この抽出された各半導体ウエハについて、各欠陥の重心位置を、図3に示すように、格子状の画像データa101上に導像指定して不良位置データc（同じ格子状の画像上に存在する欠陥の個数に対応した値を示す。）103を求め、なお、検査装置92（41、42）からは、不良位置データa101およびb102も検出される可能性がある。不良位置データc103から不良位置データa101およびb102を消去する必要がある。次に、異物/外観取集システム511は、製造工程C83において抜き取られた各半導体ウエハについて、不良位置

を検査装置94(41、42)で検査し、製造装置A84から出た後に得られる不良位置データから製造装置A84に入る前に得られる不良位置データを消去することによって製造装置A84によって生じた不良位置データ51を得ることができ、即ち、異物/外観収集システム51は、製造装置A84において発生した多数の非球体形状ウェハから、例えばロット単位に抜き取られた(サンプリングされた)または特定のロットについては全数抜き取られた(サンプリングされた)各半球体ウェハについて検査された(サンプリングされた)各半球体ウェハについての検査装置94(41、42)において検査されて得られる各欠陥(異物およびバグ/欠陥等)の重心位置座標を用い、この抽出した、格子状の画像データに座標指定して不良位置データd(同じ格子状の面素に存在する欠陥の数値を示すように、格子状の面素データd10において抜き取り検査された各半球体ウェハについての不良位置データd10を示すように、同じ半球体ウェハに亘って、図6および図5の例数であることを示す値)を加算することで、製造装置A84における不良分布画像データを作成し、この作成された不良分布画像データを、該不良分布画像データにおける面素ごとと、面素毎の数を逐次に変換することによって不良分布画像データの欠陥を逐次に変換し、これら変換された不良分布画像データ114に交換し、これらの変換された不良分布画像データ114aに出力する。

[illegible]

(同じ格子状の画素に存在する4つの画素の値に於いた値)を算出する。次に、異物/外取れ検出システム7105を求め、次に、異物/外取れ検出システム7105は、製造工程A 8 1において抜き取られた各半導体ウエハについての不良位置データe 105を増幅の半導体ウエハに亘って、図4および図5に示すように、同半導体ウエハに亘って、図4および図5に示すように、同じ座標位置を示す画素毎に値(欠陥の画素を示す値)を加算することで、製造段階B 8 5における不良位置データを作成し、この作成された不良位置データを用いて、該不良位置データにおける画素ごとの数値を濃淡値に変換することによって不良分布濃淡画像データ115に変換し、これら変換された不良分布濃淡画像データ115を、ディスプレイ等の表示手段51aまたは61aに出力する。

【0025】以上説明したように、各製造装置ごとに作成された不良分布面画像データまたは不良分布面画像データ114、115を比較すると、不良分布面画像データまたは不良分布面画像データ115にはウエハの周辺部にリング状に不良が分布していることがわかる。このように不良分布面画像データまたは不良分布面画像データ115は、半導体ウエハ内における不良分布、即ち不良が発生している領域性を示すことになる。そして、このようなある製造装置からは検出されず、ある製造装置からは検出される不良を見つけることで、不良発生の原因となる製造装置を判定することができ、即ち、異物、外取れ画像データを51において、各製造装置ごとに作成された不良分布面画像データの各々を、各不良分布面画像データにおける何れかの数値を懸念値に変換することにより、よって不良分布面画像データ114、115に変換し、これら変換された各々114、115を、直接検出物像／外観取集システム51に接続されたディスプレイ等の表示手段51aまたは異常監視システム61に提供して、異常監視システム61に接続されたディスプレイ等の表示手段61aに出力することによって、不良発生の原因となる製造装置を判断することができ、

【0026】また、図2では装置毎に示したが、同一装置であっても、チャンパ毎に同様な処理をすることで、不良発生の原因となるチャンパを判定することができ、また、図1および図2に示す検査装置91～95は、別々の検査装置で構成した場合、半導体製造ラインに組み入れてONラインモニタとして使用することも可能となり、(異物、図1および図2に示すように、不良カチナリ、異物欠陥、外観パターン欠陥等)毎に、製造工程A81による不良分布検査画像データ111と、製造工程C83による不良分布検査画像データ113と、製造工程B85による不良分布検査画像データ115との間には、異なった不良分布パターン(半導体製造工程内における不良が発生した領域性を示す。)が示されることにおける、従って、これら異なった不良分布パ

ターンを、過去事例データベース（テンプレートデータベース）121として登録しておけば、異常監視システム61において不良発生の原因となる製造工程および製品61においては、多数の製造工程によって製造され、あ半導体ウエハは、複数の製造装置を用いて製造される製造工程においては、複数の製造装置を用いて製造されることになる。そして、図13に示す半導体製造管理システム71によって、製造ラインに対するロット単位も含めて半導体ウエハの流れが管理され、半導体製造管理システム71には製造ラインに対する半導体ウエハの流れのデータベースが密着されていることになる。従って、異常監視システム61は、半導体製造管理システム71から得られる製造ラインに対する半導体ウエハの流れのデータベースに基づいて、図1に示す製造工程ごとの不良解析と図2に示す製造装置ごとの不良解析とを結合させて行う必要がある。

【0027】次に、図1、および図2に示す不良位置データ101～105から不良分布画像データを作成する方法について図3を用いて説明する。21は、各検査装置91～95（41、42）において検査された不良検査結果の座標データを示す。不良検査結果の座標データ21は、異物またはパターン欠陥等からなる欠陥（不良）の重心位置を示す基準位置からのX座標およびY座標と、欠陥の面積等で示される大きさから構成される。異物/外観収集システム51は、各検査装置91～95（41、42）から検査された入力された不良検査結果の座標データ21の内の欠陥（不良）の重心位置を示す基準位置からのX座標およびY座標を、半導体ウエハの直径をN分割した格子状に量子化すなわちN×N画素（1画素＝100μm×100μm～500μm×500μmの大きさ）に分割する。）で構成する画像データ13におけるどこどの画素位置に対応するかを交換する。はじめ全画素値0の画像データにおいて、一つの画素内一つの不良（欠陥）が存在する場合には該一つの画素に一つ不良（欠陥）が発生した場合、同一の画素内に複数の不良（欠陥）が発生した場合、その画素に対してその不良数（欠陥個数）を加算する。この結果、画像データ13として、各画素毎に不良数（欠陥個数）が示されることになる。即ち、N×N画素で構成する画像データ13として、各画素毎に示されている数値は、その画素に検出された不良数（欠陥個数）を示していることになる。従って、このN×N画素で構成する画像データ13には、欠陥の面積等で示される大きさの情報は含まれていないことになる。しかし、異物欠陥については、大きさは1画素内に十分入るものであり、発生する個数を把握できればよい。またパターン欠陥についても、発生原因の多くは、異物によるものであるため、異物欠陥と同様に大きさは1画素内に十分入るものであり、発生する個数を把握できればよい。このようにして、異物/外観収集システム51は、N×N画素で構成する画像データ

13として、不良位置データ101～105に基づく不良分布画像データを作成することができる。もし、異物/外観収集システム51は、不良分布画像データを、異物/外観収集システム51に接続されたディスプレイ等の表示手段51a、または異常監視システム61に接続されたディスプレイ等の表示手段61aに表示するためには、N×N画素で構成する画像データ13を、N×N画素で構成する画像データ13における画素ごとの数値を線量値に変換することによって不良分布画像データ5に基づく不良分布画像データを線量画像として表示することが可能となり、不良分布の傾向を視覚的に把握することができる。

【0028】次に、図1、および図2に示す如く、不良分布画像データから、不良分布線量画像データ111～115に変換する具体的な実施例を図4を用いて説明する。異物/外観収集システム51において、図3に示す一枚一枚の半導体ウエハの不良分布画像データ13の群14を、図5に示す如く対応する画素毎に値を算出することによって、複数の半導体ウエハに亘って各画素毎に不良（欠陥）の発生数で示される値の不良分布15が得られる。そして、異物/外観収集システム51は、N×N画素で構成する画像データ15を、N×N画素で構成する画像データ15における画素ごとの数値を線量値に変換することによって不良分布線量画像データ32に交換し、これをディスプレイ等の表示手段51a、または61aに表示する。これによって、各製造工程および製造装置毎に、製造された複数の半導体ウエハに亘って発生した不良（欠陥）の発生数の分布15を、線量画像として視覚的に把握することができ、さらに、半導体ウエハ上のチップ構成やオリフラなどの設計パターンによるパターン22を、異物/外観収集システム51に対してCADシステム201に接続されたネットワーク、記録媒体等からなる入力手段51bを用いて入力し、異物/外観収集システム51は、ディスプレイ等の表示手段51a、または61aに対して、入力された設計データによるパターン22と交換された不良分布線量画像データ32とを33で示す如く重ね合わせて表示することで、チップ構成と不良分布の傾向を把握することも可能となる。設計パターンは線量ではなく、カラーで表示することで不良分布と区別をつけることでわかりやすく、ウエハの外形だけを表示してもよい。

【0029】図5は、2枚の半導体ウエハにおける不良分布画像データ16、17を加算して不良分布画像データ18を作成する場合を示す図である。即ち、画素毎に、不良（欠陥）の発生数（画数）を示した格子状の画像データA（x(n), y(n))16とB（x(n), y(n))17の同一座標（x(n), y(n))を示す画素の値を次に

示す（数1）式に基づいて加算することで、2枚の半導体ウエハに亘って発生した不良（欠陥）の発生分布を示す

$$C(x(n), y(n)) = A(x(n), y(n)) + B(x(n), y(n))$$
（数1）

図6には、不良分布線量画像データ32を表示手段51a、61aに表示した実施例を示す。図6は、半導体ウエハ上における不良分布を格子状の画像データとして扱い、同一格子の中に不良が多いほど、明るく表示し、不良が少ないほど、暗く表示している。不良分布11は倍子が少なく、1チップを1画素として扱い、不良分布12は格子を細かく、1ウエハを128×128画素（1画素約1.6mm）で扱っている。図6では不良が多いほど、明るく、不良が少ないほど暗くした実施例を示したが、その反対に不良が多いほど、暗く、不良が少ないほど明るく表示することで、同様に不良分布を表示でき、有効である。この選択は、利用者の好みに合わせてよい。また、画像サイズは、さらに格子を細くし、512×512画素（1画素約400μm）、1024×1024画素（1画素約200μm）とするも有効である。

【0030】次に図3や図4に示す如く、各製造工程または各製造装置によって製造された各半導体ウエハから検出された不良分布画像データ13や各製造工程または各製造装置によって製造された複数の半導体ウエハに亘って検出された不良分布画像データ15から異物/外観収集システム51および異常監視システム61において不良分布の異常を自動解析、監視する方法の一実施の形態について図7および図8を用いて説明する。図8において、半導体ウエハ上に形成された格子状の表線は、チップを示す。まず、異物/外観収集システム51は、ステップ131において、図3や図4に示す方法で、異物検査装置41および外観検査装置42から各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘って検出される画素または複数の半導体ウエハに亘って検出される不良（欠陥）の発生数を表示し、異物やパターン欠陥等の欠陥の発生数を表示し異物マップおよび外観マップ141（13または15）に対して画像データ化を行って異物および外観マップ画像142を得る。即ち、不良カテゴリー（異物または外観パターン欠陥）毎に、画像データ化を行う。異物マップおよび外観マップ141（13または15）は、異物検査装置41および外観検査装置42で検査された半導体ウエハを特定する番号等の情報が補足されている。従って、異物マップおよび外観マップ141は、どの半導体ウエハから得られたのかで識別することが可能となる。次に異常監視システム61は、ステップ132において、異物および外観マップ画像142に対して所定の閾値（1画素における所定の不良数（欠陥個数）で与えられる閾値）で異物および外観マップの2値化画像に変換し、該変換された異物および外観マップの2値化画像に対して、図9に示す如く隣接した画素において発生した不良（欠陥）を一つの塊（クラスタ）にする画像膨張処理を行って異物および外観マップ膨張2値化画像143を作成する。

す画像データC（x(n), y(n))18が作成される。

【0031】図9に示す画像膨張処理としては、2次元2値化画像データで示される原画像データ151（142）に対して、中心画素を含め、その4近傍画素154において論理和155をとってその結果を中心画素に付与することによって、中心画素を含め、その4近傍画素154において一つでも不良（欠陥）を示す"1"なる画素が存在した場合、中心画素として不良（欠陥）を示す"1"が付与されて、近傍の画素において発生した不良（欠陥）を示す"1"なる信号が1画素離れたいても膨張されて算がり、一つの塊（クラスタ）となった4近傍膨張後の画像データ152が得られる。また、図9に示す画像膨張処理としては、2次元2値化画像データで示される原画像データ151（142）に対して、中心画素を含め、その8近傍画素156において論理和157をとってその結果を中心画素に付与することによって、中心画素を含め、その8近傍画素156において一つでも不良（欠陥）を示す"1"なる画素が存在した場合、中心画素として不良（欠陥）を示す"1"が付与されて、近傍の画素において発生した不良（欠陥）を示す"1"なる信号が1画素離れたいても膨張されて算がり、一つの塊（クラスタ）となった8近傍膨張後の画像データ153が得られる。このような画像膨張処理を複数回繰り返すことによって、不良（欠陥）を示す"1"なる信号が複数画素離れたいても膨張されて算がることがになり、一つの塊（クラスタ）となった画像データが得られる。また4近傍膨張と8近傍膨張とを交互に行うことで、均一な膨張を行うことができる。

【0032】このように、一つの塊（クラスタ）に繋がった状態で、元の画像に戻すには、画像縮小処理を行えばよい。中心画素を含め、その4近傍画素154または中心画素を含め、その8近傍画素156において論理積をとってその結果を中心画素に付与することによって、膨張された"1"なる信号が付与された一塊になった不良（欠陥）の領域における最外周の1画素が"1"なる信号から、"0"なる信号に変わって縮小されてつながった状態で元の画像データに近い形に戻るようになる。要するに、近傍の画素に不良（欠陥）が検出された場合、不良（欠陥）の発生原因は同じと考えられ、そのためその後の画像処理をやすくするために一つの塊にすべて、画像膨張処理を行う。さらに、異物/外観収集システム51は、ステップ133において、同一のクラスタ毎にラベリングを付与する画像ラベリング処理を行ってラベリング画像144を作成する。このラベリング処理を行う際、ノイズ成分に近い小さな塊（膨張後例えば3画素×3画素または5画素×5画素全てに不良（欠陥）と判定されない小さな塊の場合、即ち膨張前に1画素または2画素の大きさで、しかも他の不良（欠陥）とは大

例がない場合には、新たに事例データベース（テンプレートデータベース）を作成する必要がある。即ち、異常監視システム61は、図7に示す処理フローにおいて異常と判定したとき、図10に示す処理フローに基づいて過去の事例データベース（テンプレートデータベース）121と照合し、照合率がある基準以上の過去の事例データベース（テンプレートデータベース）を構築する必要がある。異常監視システム61が図7に示す処理フローにおいて異常と判定して異常通知を出したとき、利用者または管理者は、この異常と判定された半導体ウエハまたは半導体ウエハに亘って異常通知結果をもとに電子顕微鏡観察、異常監視システム61を用いた過去事例の検索などによる詳細解析を行った不良の発生原因となる製造工程および製造装置を究明し（ステップ63）、製造装置（製造装置）の保守を含めた整備、プロセスパラメータの調整、設計へのフィードバックなどの対策を行い（ステップ64）、これら異常と判定された不良分布の画像データ122と共にステップ63において宛明された不良の発生原因となる製造工程および製造装置並びにステップ64において対策された対策方法等の付帯情報に付加して過去事例データベース121にテンプレート画像即ち、過去事例データベース121にテンプレート画像データ122として登録されていないが、新たな信頼性の不良が発生した、その不良分布の画像データ122の不良を究明し、対策した結果である原因装置、原因工程、対策方法などの付帯情報123として、過去事例データベース（テンプレートデータベース）121に登録し、それ以降、テンプレートとして活用する。

【0039】また、代表とする不良分布のテンプレート10039）また、代表とする不良分布のテンプレートを、図11に示すように対話式で作成して過去事例データベース（テンプレートデータベース）121として記憶装置に記憶させてよい。即ち、異常監視システム61は、ステップ161において、CADシステム201から設計データのチップ配列のパターンを読み込んで表示手段61aに表示し、次にステップ162において過去事例の検索結果と照合に基づいて入力手段61bを用いてチップごとに領域としてクリップ可能とすると、これらのチップを、過去事例の検索結果と照合に基づいてクリップすること、そのチップの表示の色や明るさを換え、代表とする不良分布のテンプレートの形状を作成する。また、市販のフォトリソグラフィソフトなどを用い、テンプレートの図形を描き、画像ファイルとして登録することとでテンプレートを作成することも有効である。以上、ステップ163において不良分布のテンプレートの形状を作成完了したら、ステップ164において画面上で作成した形状のテンプレート画像データを過去事例データベース（テンプレートデータベース）121として記憶装置に記憶させる。これによって、代表とする不良分布のテンプレートをテンプレートデータベース121から

（クラスタ）にした異物および外観マップ膨張2値化画像143について、図14に示すように、予め用意された不良カテゴリーごとの過去の事例データベース（不良欠陥）の発生原因となる製造装置、不良の発生原因となる製造工程、および不良の発生原因を取り除く対策方法等についての付帯情報が付与された代表とする複数種類の不良分布のテンプレート）とマッチングを行って照合率を算出する。そして、異常監視システム61は、ステップ138において、不良カテゴリー毎に、照合率が最も高い不良分布のテンプレートの種類とその不良分布の発生位置（座標）とが特定されて抽出される。次に、異常監視システム61は、ステップ139において、特定された不良分布のテンプレートとの照合率が許容値を超えたか否かの判定を行い、越えた場合には、ステップ136bにおいて警告するため異常として出力して利用者または管理者へ異常通知62を行う。従って、異常監視システム61から異常通知62が行われた照合率が最も高い不良分布のテンプレートの種類が特定されることによって、この不良分布のテンプレートに付帯された情報を表示手段61a等の出力手段に出力することによって、利用者または管理者は、不良（欠陥）の発生原因となる製造装置、不良の発生原因となる製造工程、および不良の発生原因を取り除く対策方法等を特定することが可能となり、対策を容易に行って、不良の発生原因を取り除くことが可能となる。

【0037】次に、代表とする複数種類の不良分布のテンプレートの作成方法について説明する。図14に示すように、異常監視システム61は、不良の発生原因を推定して対策した過去の多数事例における異物/外観欠陥システム51から取得されたテンプレートとなる複数種類の不良分布の画像データ122を入力手段61bを用いて選択し、不良（欠陥）の発生原因となる製造装置、不良の発生原因となる製造工程、および不良の発生原因を取り除く対策方法等の付帯情報を付与してテンプレートデータベース121として記憶装置に記憶させたものである。複数種類の不良分布の画像データ122として、過去の事例における異物/外観欠陥システム51から取得された各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘って得られた多数の異物および外観マップ膨張2値化画像143であったとしても良い。当然、異常監視システム61は、過去の多数の事例から代表とする複数種類の不良分布の画像データ（不良分布テンプレート画像）122を選択する際に、不良（欠陥）の発生原因を推定して対策した結果に基づいて、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造装置、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造工程、およびその不良（欠陥）の発生原因と推定される対策方法などの付帯情報を付与してテンプレートデータベース121として記憶装置に記憶されることとなる。

【0038】また、異常監視システム61は、過去の事

ステップ135において、異物/外観欠陥システム51によって抽出された各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘っての各ラベル内の特徴量である不良の重心位置や不良の密度（不良個数/面積）や不良の重心からの分散値145から不良の発生状況を把握することができ、その結果、経験的に不良（欠陥）を発生した製造工程や不良（欠陥）を発生した製造装置を特定し、不良（欠陥）の発生原因を推定することとなる。

【0035】以上説明した図7に示す処理は、基本的に、異常監視システム61において、異物/外観欠陥システム51によって抽出された不良カテゴリー（異物欠陥または外観パターン欠陥）毎で、且つ各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘っての各ラベル内の特徴量に基づき単に異常判定を行うものである。次に図3や図4に示す如く、各製造工程または各製造装置によって製造された各半導体ウエハから抽出された不良分布画像データ13や各製造工程または各製造装置によって製造された複数の半導体ウエハに亘って抽出された不良分布画像データ15から異物/外観欠陥システム51および異常監視システム61において不良分布を過去の事例に基づいて自動解析、監視する方法の別の実施の形態について図10を用いて説明する。図10に示すように、まず、異物/外観欠陥システム51は、ステップ131において、図3や図4に示す方法で、異物検査装置41および外観検査装置42から各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘って抽出される座標欠陥等の分割された各面毎に不良（異物やパターン欠陥等の欠陥）の発生個数を示す異物マップおよび外観マップ141（13または15）に対して異物および外観マップ画像142として画像データ化を行う。異物マップおよび外観マップ141（13または15）は、異物検査装置41および外観検査装置42で検査された半導体ウエハを特定する番号等の情報が付与されている。従って、異物マップおよび外観マップ141は、どの半導体ウエハから得られたのか識別することが可能となる。

【0036】次に異物/外観欠陥システム51は、ステップ132において、異物および外観マップ画像142に対して所定の閾値（1画素における所定の不良数（欠陥個数）で与えられる閾値）で異物および外観マップの2値化画像に変換し、該変換された異物および外観マップの2値化画像に対して、図9に示す如く図10に示す面において発生した不良（欠陥）を一つの塊（クラスタ）にする画像処理を行って異物および外観マップ膨張2値化画像143を作成し、異物検査装置41および外観検査装置42で検査された半導体ウエハを特定する番号等の情報を付与させた状態で異常監視システム61に送信する。次に異常監視システム61は、ステップ137において、不良カテゴリー（異物欠陥、または外観パターン欠陥）毎に、作成された不良（欠陥）を一つの塊

きく離れた孤立した状態で、不良（欠陥）を示す“1”なる番号が発生した小々塊の場合）については消去する処理を行う。また同クラスタ内の不良数（欠陥個数）を計算し、所定の値以下についてのクラスタについて消去してもよい。これによって、不良（欠陥）の大きい塊のみがラベリング処理されることになる。

【0033】次に、異物/外観欠陥システム51は、ステップ134において、同じラベリング、即ち同じ塊（クラスタ）で処理された各ラベル内の特徴量抽出145として、各ラベルの代表位置（代表座標）を示す重心位置（重心座標）、各ラベルの大きさを示す面積、各ラベルのx方向、y方向、r方向（半径方向）、θ方向の長さ、各ラベルの周囲長、各ラベルの円形度、各ラベル内の不良数（欠陥個数）（濃度値）、各ラベル内の不良のモーメント、各ラベル内の不良の密度（不良個数/面積）、各ラベル内の不良の分散値を算出し、異常監視システム61に送信する。即ち、異物/外観欠陥システム51は、ステップ134において、不良カテゴリー毎に、且つ各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘っての各ラベル内の特徴量（例えば、各ラベルの代表位置（代表座標）を示す重心位置（重心座標）、各ラベルの大きさ、各ラベルの周囲長、長さ、不良個数、不良の密度、不良の分散値等）145を抽出し、異物検査装置41および外観検査装置42で検査された半導体ウエハを特定する番号等の情報を付与させた状態で異常監視システム61に送信する。

【0034】異常監視システム61は、ステップ135において、異物/外観欠陥システム51によって抽出された各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘っての各ラベル内の特徴量（例えば、各ラベルの大きさ、を示す次元的面積や3次元的不良数（欠陥個数）や不良の密度（不良数/面積）や不良の重心位置からの分散値等）145が許容値を超えたか否かの判定を行い、越えた場合には、ステップ136aにおいて警告するため異常として出力して利用者または管理者へ異常通知62を行う。この利用者または管理者へ異常通知62は、異常監視システム61に接続された表示手段618等の出力手段を用いて行っても良く、また異常監視システム61にネットワークを介して接続された端末に出ることは、ステップ135において、異常監視システム51によって抽出された各半導体ウエハ毎にまたは複数の半導体ウエハに亘っての各ラベル内の特徴量（重心座標）によって、半導体ウエハ上に亘って一塊の不良（欠陥）が発生した領域を認識でき、しかも各ラベル内の特徴量の内各ラベルの大きさを示す面積、長さ、不良数（欠陥個数）等によって、不良（欠陥）が発生した一塊の2次元の大きさまたは不良数（欠陥個数）を含めた3次元の大きさを認識することができる。また異常監視システム61は、



就みだすことによつて利用することが可能となる。この場合においても、過去事例の検査結果と経緯に基づいて、代表とする不良分布のテンプレート画像124を作成する際に、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造装置、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造工程、およびその不良（欠陥）の発生を無くする対策方法などの付帯情報を付与されて過去事例データベース121として記憶装置に記憶されることになる。

【0040】次に図3や図4に示す如く、各製造工程または各製造装置によつて製造された各半導体ウエハから検出された不良分布画像データ13や各製造工程または各製造装置によつて製造された複数の半導体ウエハに亘って検出された不良分布画像データ15から異物／外観検査システム51および異常監視システム61において不良分布の領域性不良を自動解析、監視する方法の別の実施の形態について図11を用いて説明する。図7に示す実施の形態と相違する点は、ステップ140において、異常監視システム61が、異物／外観検査システム61から得られる各ラベル内データについての特徴抽出結果に対して、ニューラルネットワークあるいは統計的な過去の事例から取得した過去事例データベースである特徴量データ121'とのマッチングを行い、ステップ136cにおいて照合率の高いものを異常として出力して利用者または管理者へ異常通知62を行う。この場合、ニューラルネットワークあるいは統計的な過去の事例から取得された特徴量データ121'を、上記のプレートデータベース121と同様に、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造装置、不良（欠陥）の発生原因と推定される製造工程、およびその不良（欠陥）の発生を無くする対策方法などの付帯情報を付与して多数用査する必要がある。

【0041】以上説明したように、図7に示す処理、図10に示す処理、図12に示す処理を個別に行つても有効であるが、それらを並列に行ひ、どれか一つでも検出した結果を利用者へ通知することで抜けの少ない異常の検出が可能となる。次に本発明に係る半導体製造における不良解析システムの一実施の形態について図13を用いて説明する。図13は、本発明に係る半導体製造における不良解析システムの一実施の形態を示す全体概略構成図である。製造工程A81は、酸化工程81a、成膜工程81b、ホトリソ工程81c、エッチング工程81dから構成され、各々の工程81a～81dにおいて1台または複数の製造装置が使用されることになる。1台または複数の製造装置82a、ホトリソ工程82b、エッチング工程82cから構成され、各々の工程82a～82cにおいて1台または複数の検査台の製造装置が使用されることになる。また製造工程C83は、スパッタリング工程83a、成膜工程83b、ホトリソ工程83c、エッチング工程83dから構成され、各々の工程83a～83dにおいて1台または複数の製造装置

加算して外観欠陥分布画像データを作成する。更に、異物／外観検査システム51は、作成された異物欠陥分布画像データにおける画素ごとの数値を閾値値に変換することによつて異物欠陥分布濃淡画像データを得ることができ、また作成された外観欠陥分布画像データにおける画素ごとの数値を閾値値に変換することによつて外観欠陥分布濃淡画像データをおよび外観欠陥分布濃淡画像データと表示手段51a、61aに表示することが可能となる。なお、異物／外観検査システム51において、異物検査装置41および外観検査装置42から検査されたデータを収集する際、どのような製造経路を経て、いつ製造された半導体ウエハであるかについで、半導体製造管理システム71に蓄積された半導体ウエハの流れのデータを参照することによつて把握することが可能となる。

【0044】電気検査装置43は、テスト72から半導体ウエハの状態での完成された各半導体チップの動作試験結果が得られる。各半導体チップが例えばメモリの場合作試験結果として不良のメモリセルが特定され、この不良のメモリセルを稼働用のメモリセルに切り替えで稼働できるものと数値不可能なものに分類される。従つて、電気検査装置43からは、全ての半導体ウエハについて、各半導体チップ内のセル単位で稼働できるものと稼働できないものと分類して不良セル（不良素子）の位置データとチップ全体が稼働できないものとしてのチップ不良とに関する情報が得られる。主としてCPUによって構成される電気検査取集システム52は、良素子分布画像データを複数の半導体ウエハに亘つて加算して不良素子分布画像データを作成し、更に、この作成された不良素子分布画像データにおける画素ごとの数値を閾値に変換することによつて不良素子分布濃淡画像データを得ることができ、この不良素子分布濃淡画像データを表示手段51a、61aに表示することが可能となる。なお、電気検査取集システム52において、電気検査装置43から検査されたデータを収集する際、どのような製造経路を経て、いつ製造された半導体ウエハであるかについで、半導体製造管理システム71に蓄積された半導体ウエハの流れのデータを参照することによつて把握することが可能となる。

【0045】合せ検査装置44は、ホトリソ工程において使用される露光装置における位置合わせ装置を、実際

らに、使用される露光装置における位置合わせ装置が固定検査されることになる。寸法検査装置45は、半導体ウエハ上にエッチング等によつて形成されたパターン寸法を検査するものである。膜厚検査装置46は、半導体ウエハ上に成膜された膜厚を検査するものである。品質検査システム53は、合せ検査装置44から得られる露光装置における位置合わせ装置、寸法検査装置45から得られるパターン寸法の品質に関する情報が収集され形成された回路パターン寸法の品質に関する情報が収集されることになる。なお、品質取集システム53において、合せ検査装置44、寸法検査装置45、および膜厚検査装置46から測定されたデータを収集する際、どのような製造経路を経て、いつ製造された半導体ウエハであるかについで、半導体製造管理システム71に蓄積された半導体ウエハの流れのデータを参照することによつて把握することが可能となる。

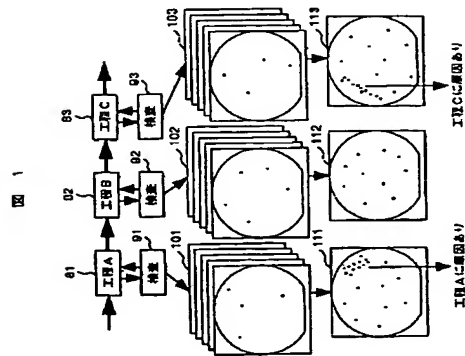
【0046】主としてCPUと過去事例データベース121（121'）を記憶する記憶装置とから構成される異常監視システム61は、異物／外観検査システム51、電気検査取集システム52、および品質取集システム53などから収集されたデータに基づいて、自動監視を行う。そして異常自動監視システム61は、図7、図10、図12に示す不良分布解析（不良の発生領域に基づく解析）の他に、検査データの規格値管理、時系列傾向変化解析、製造装置別の機能解析などの各解析項目により異常事態を自動で監視し、監視結果を表示手段61aやネットワークを介して端末装置や半導体製造管理システム71から出力して利用者または管理者に通知する。また異常自動監視システム61において、異物／外観検査システム51、電気検査取集システム52、および品質取集システム53などで収集されたデータについての相互関係（どのような製造経路を経て、いつ製造された半導体ウエハについての収集されたデータであるかの相互関係）は、半導体製造管理システム71に蓄積された半導体ウエハの流れのデータを参照することによつて把握することが可能となる。従つて、異常自動監視システム61は、特定された製造工程における時系列解析はもとより、特定された製造装置における時系列を含めた機能解析を行うことが可能となる。

【0047】なお、異常自動監視システム61と各収集システム51、52、53は同一のCPUで構成してもよい。また異常自動監視システム61と各収集システム51、52、53との機能を、半導体製造管理システム72の中に組み入れてもよい。次に、異常自動監視システム61が利用者または管理者に自動通知する方法の実施例について、図15を用いて説明する。異常自動監視システム61は、ネットワークを介して電子メール等を用いて所望の端末装置や半導体製造管理システム71に自動送信する。図15には、所望の端末装置や半導体

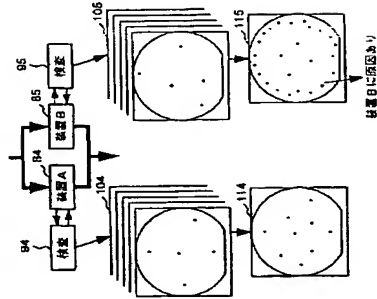


△、81...製造工程A、82...製造工程B、83...製造工程C、84...製造装置A、85...製造装置B、91、92、93、94、95...検査装置、121、121'、1...CADシステム

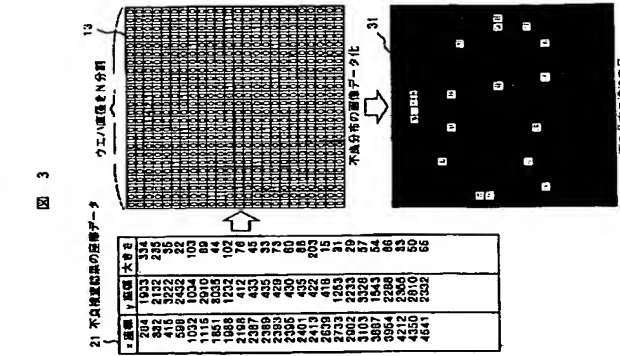
【図1】



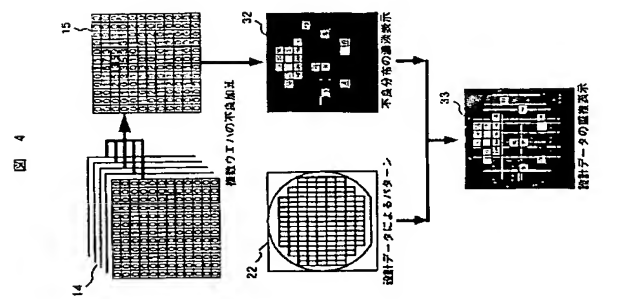
【図2】



【図3】



【図4】



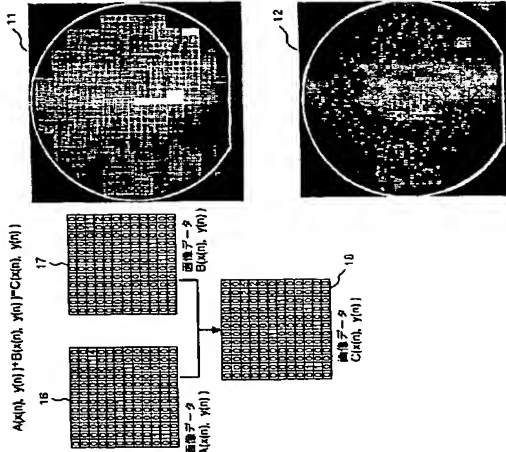
...事例データベース (テンプレートデータベース)、171...関係者に報告する内容、172...不良推移、201...CADシステム

【図5】

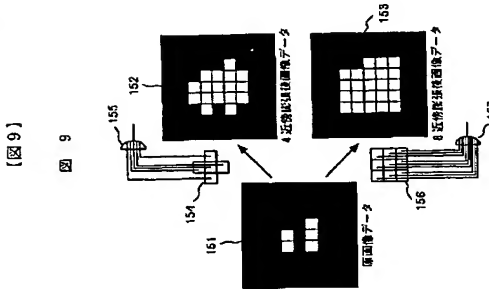
【図6】

【図7】

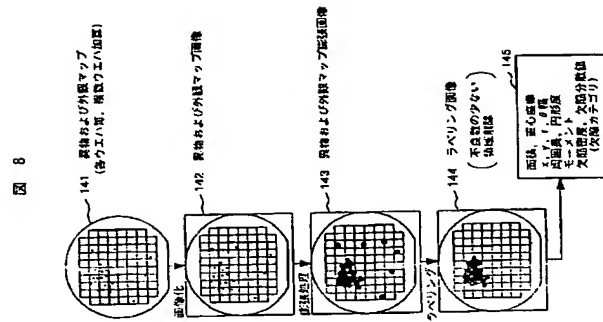
【図8】



【図9】



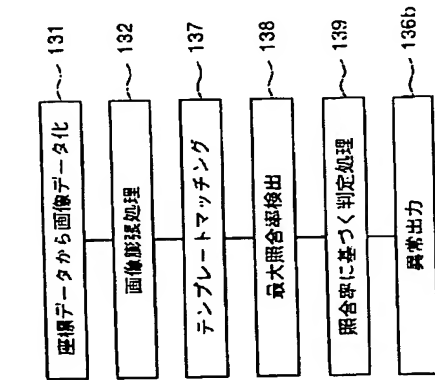
【図10】



【図10】

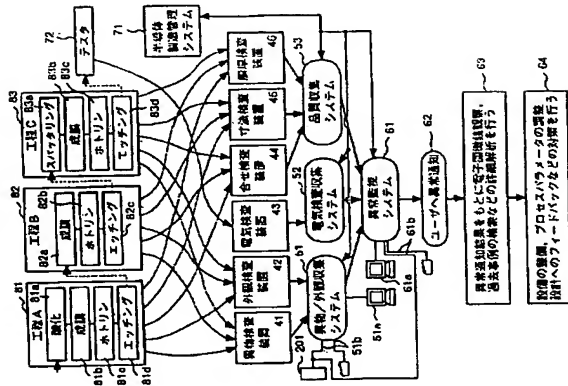
図 10

図 10



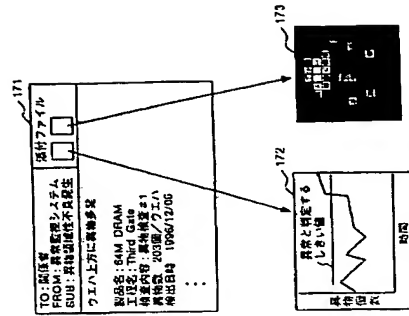
【図13】

図 13



【図15】

図 15



【図14】

図 14

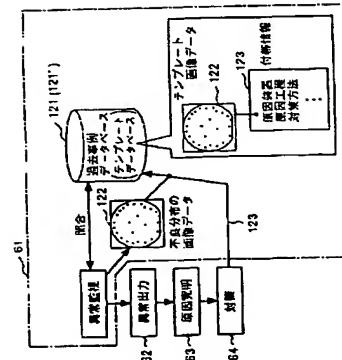
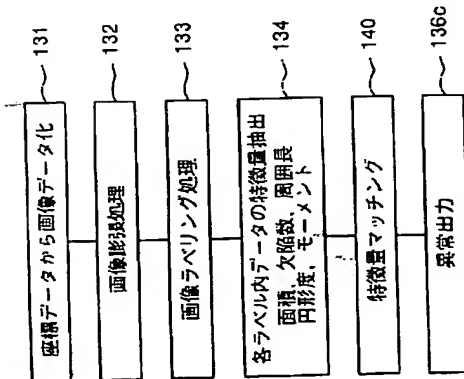
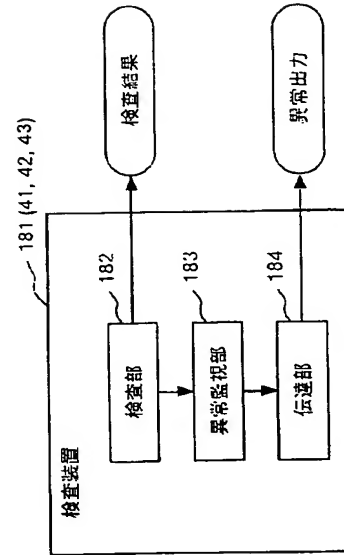


図 12



【図16】

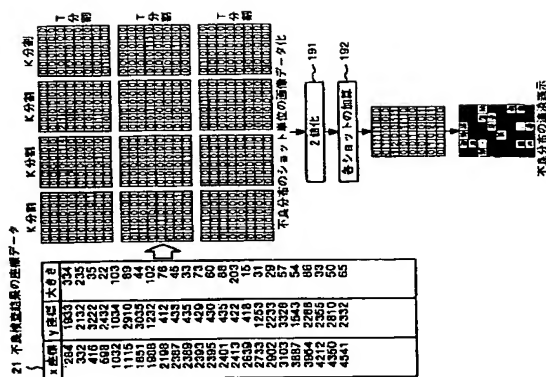
図 16





【図17】

図 17



フロントページの続き

(72)発明者 高麗 正樹

東京都小平市上水本町五丁目20番1号株式会社日立製作所半導体事業部内

(72)発明者 郷 直樹

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

W 1204  
1/11 ページ

United States Patent: 5,982,920

# US PATENT & TRADEMARK OFFICE

## PATENT FULL TEXT AND IMAGE DATABASE



- Help
- Home
- Boolean
- Manual
- Number
- Order Copy
- PTOLs
- Hit List
- Bottom
- Shopping Cart
- Order Copy
- Images

(1 of 1)

5,982,920

United States Patent

Tobin, Jr., et al.

November 9, 1999

Automated defect spatial signature analysis for semiconductor manufacturing process

### Abstract

An apparatus and method for performing automated defect spatial signature analysis on a data set representing defect coordinates and wafer processing information includes categorizing data from the data set into a plurality of high level categories, classifying the categorized data contained in each high level category into user-labeled signature events, and correlating the categorized, classified signature events to a present or incipient anomalous process condition.

Inventors: Tobin, Jr.; Kenneth W. (Harriman, TN); Gleason; Shaun S. (Knoxville, TN);

Karnowski; Thomas P. (Knoxville, TN); Sari-Sarraf; Hamed (Knoxville, TN)

Assignee: Lockheed Martin Energy Research Corp. Oak Ridge National Laboratory (Oak Ridge, TN)

Appl. No.: 780569

Filed: January 8, 1997

U.S. Class: 382/145; 382/224

Intern'l Class: G06K 009/00; 195; 203; 209; 217; 224; 225

Field of Search: 382/144, 145, 146, 147, 149, 150, 308, 218, 259, 286, 293, 141, 142, 143, 148, 151, 152, 181, 190

Search: 348/87 371/22.1 364/490, 468.28 702/35 250/492, 2,559.42 398 438/17 430/296

324/158.1 356/237

### References Cited [Referenced By]

U.S. Patent Documents	
4500789	Feb., 1985 Ban et al.
4999785	Mar., 1991 Schmutter
5129009	Jul., 1992 Lebeau
5256578	Oct., 1993 Corley et al.
5479252	Dec., 1995 Worster et al.
5539752	Jul., 1996 Berezin et al.
250/492.	
382/150.	
382/149.	
437/8.	
356/237.	
371/22.	

Primary Examiner: Boudreau; Leo H.

資料 4  
A-3



US05982920A

United States Patent [19]  
Tobin, Jr. et al.  
[11] Patent Number: 5,982,920  
[45] Date of Patent: Nov. 9, 1999

[54] AUTOMATED DEFECT SPATIAL SIGNATURE ANALYSIS FOR SEMICONDUCTOR MANUFACTURING PROCESS

[75] Inventors: Kenneth W. Tobin, Jr., Harriman; Shaun S. Gleason, Knoxville; Thomas P. Karnowski, Knoxville; Hamed Sari-Sarraf, Knoxville, all of Tenn.

[73] Assignee: Lockheed Martin Energy Research Corp. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,500,789 2/1985 Ban et al. 250/492.2  
4,999,785 3/1991 Schmutter 382/150  
5,129,009 7/1992 Lebeau 382/149  
5,256,578 10/1993 Corley et al. 437/8  
5,479,252 12/1995 Worster et al. 356/237  
5,539,752 7/1996 Berezin et al. 371/22.1

Primary Examiner—Leo H. Boudreau  
Assistant Examiner—Bijan Tadiyon  
Attorney, Agent, or Firm—Morgan & Finnegan, LLP

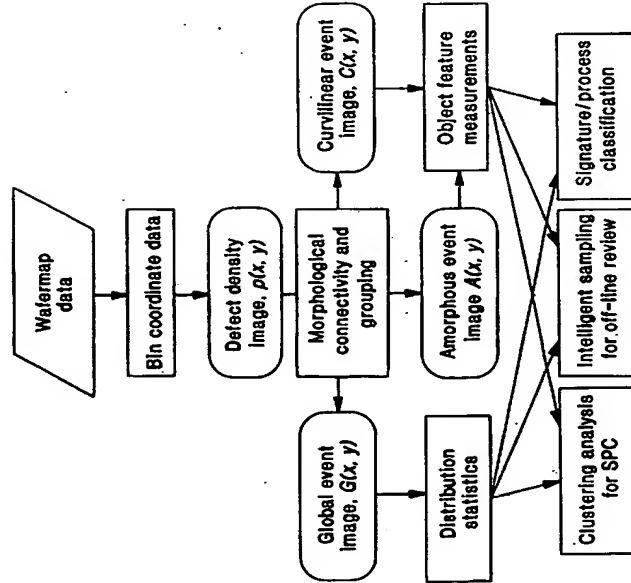
### ABSTRACT

An apparatus and method for performing automated defect spatial signature analysis on a data set representing defect coordinates and wafer processing information includes categorizing data from the data set into a plurality of high level categories, classifying the categorized data contained in each high level category into user-labeled signature events, and correlating the categorized, classified signature events to a present or incipient anomalous process condition.

25 Claims, 10 Drawing Sheets

[21] Appl. No.: 08/780,569  
[22] Filed: Jan. 8, 1997

[51] Int. Cl.<sup>6</sup> G06K 9/00  
[52] U.S. Cl. 382/145; 382/224  
[58] Field of Search 382/144, 145, 382/146, 147, 149, 150, 308, 218, 259, 286, 293, 141, 142, 143, 148, 151, 152, 181, 190, 195, 203, 209, 217, 224, 225, 348/87, 371/22.1, 364/490, 468.28, 702/35, 250/492.2, 559.42, 398, 438/17, 430/296, 324/158.1, 356/237



Assistant Examiner: Tadayon; Bijan  
Attorney, Agent or Firm: Morgan & Finnegan, LLP

# Government Interests

This invention was made with government support under Contract No. DE-AC05-84OR21400 awarded by the U.S. Department of Energy to Lockheed Marietta Energy Systems, Inc. and the government has certain rights in this invention.

## Claims

1. A method of performing automated defect spatial signature analysis on a data set representing defect coordinates and wafer processing information, comprising the steps of:

categorizing data from the data set into a plurality of high level event categories including global events, curvilinear events, amorphous events, and micro-structure events;

classifying the categorized data contained in each high level category into user-labeled signature events; and

correlating the categorized, classified signature events to a present or incipient anomalous process condition.

2. A method according to claim 1, wherein the categorizing step includes generating a grey-scale density image  $\rho(x,y)$  from the data set and inputting the grey-scale density image to means for performing the classifying step.

3. A method according to claim 2, wherein the density image is a composite of several overlaying events within the data set.

4. A method according to claim 3, further comprising reducing the data set to simpler, non-overlapping or nearly non-overlapping sets that can be individually analyzed to assign the user-labeled signature events.

5. A method according to claim 1, wherein the global events category is defined as including any unclustered single pixel events, the curvilinear category is defined as including any curvilinear and radial clustered events associated with wafer spinning processes and mechanical surface damage, polishing anomalies, the amorphous category is defined as including nonlinear, tightly grouped cluster events arising from various processes, including lithography, etch, watermarks, and particle stains, and the microstructure category is defined as a collection of distributed single-pixel events which contain laser distributions of defects which reside on the image sub-pixel level and are related to small fine micro-scratching from chemical and mechanical polishing for wafer planarization.

6. A method of performing automated defect spatial signature analysis on a data set representing defect coordinates and wafer processing information, comprising the steps of:

forming a density image  $\rho(x,y)$  from the data set;

parsing the density image into two categories based on defect density values: low-density, potentially random events, and higher-density, potentially clustered events, thereby segmenting random defect distributions from other signature type events;

classifying the data contained in each category into user-labeled signature events; and correlating the categorized, classified signature events to a present or incipient anomalous process condition.

7. A method according to claim 6, further comprising re-evaluating the low-density, random event image using a connectivity analysis to determine if some of the events should be removed and merged with the clustered-objects image.

8. A method according to claim 7, further comprising moving the initially random events back into the clustered image if connected groups of low-density defect pixels are found.

9. A method according to claim 6, further comprising binarizing the images for higher-density clustered events and processing the binarized image to account for nearest-neighbor relationships and relationships between large connected groups.

10. A method according to claim 9, wherein the processing includes applying a dilation technique to the clustered images so that neighboring objects are grouped into single objects, thereby pulling in some scattered defects around a single event.

11. A method according to claim 10, further comprising determining the features of the resulting image, wherein the features include area, elongation, compactness, and proximity, and then combining the measured features using fuzzy logic-type constraints.

12. A method according to claim 11, further comprising breaking the combined features into initial approximations of a curvilinear mask,  $M_{sub.C}(x,y)$ , and an amorphous mask,  $M_{sub.A}(x,y)$ .

13. A method according to claim 12, wherein the mask is a binary image used to filter out areas of the target image, whereby if the mask value is 0, areas are removed and a remainder of the target image where the value is 1 passes through, and wherein the masks are eventually used to generate three final event images on a display device coupled to a computer.

14. A method according to claim 13, further comprising directionally dilating objects based on surrounding structure prior to final feature measurement.

15. A method according to claim 14, wherein each object in the initial curvilinear mask,  $M_{sub.C}(x,y)$ , is measured to determine a direction of desired elongation for a selected object, based on the distance and size of neighboring objects.

16. A method according to claim 6, wherein the data set is wafer map data.

17. A method according to claim 6, wherein the data set is flat panel display data.

18. An apparatus for performing automated defect spatial signature analysis on a data set representing defect coordinates and wafer processing information, comprising:

means for categorizing data from the data set into a plurality of high level categories including global events, curvilinear events, amorphous events, and micro-structure events;

means for classifying the categorized data contained in each high level category into user-labeled signature events; and

evaluate the state of the manufacturing process to quickly diagnose process problems and to ultimately improve product yield.

The increased flow of information that must be quickly and correctly evaluated is resulting in data reduction schemes which may not make the most efficient or consistent use of the available information. These schemes primarily depend on human evaluation of large numbers of electronic "wafer maps" to characterize and correct the state of the manufacturing process. However, manual viewing and evaluation of these wafermaps results in a necessarily limited throughput of wafer data and is subject to broadly varying data interpretations such as subjective or inconsistent results and misclassifications due to operator fatigue or inexperience.

U.S. Pat. No. 4,500,789 to Ban et al. describes a method and apparatus for analyzing a wafer surface in which an electron beam is projected onto a desired pattern region. The acceleration voltage of the beam is set at a value at which the distribution of the scattered electrons in a predetermined region is substantially uniform. The exposure time of the electron beam is changed when pattern data is changed.

U.S. Pat. No. 5,256,578 to Corley et al. Describes a method and apparatus for integral semiconductor wafer map recording which comprises a semiconductor wafer having a plurality of individual die thereon. Tests produce data that generate wafer maps.

U.S. Pat. No. 5,479,252 to Worster et al. describes a laser imaging system used to analyze defects on semiconductor wafers that have been detected by patterned wafer defect detecting systems. The laser imaging system uses confocal laser scanning microscopy techniques.

These and other inspection techniques are generally known. In-line inspection of semiconductor wafer products is usually performed by using optical microscopy or light scattering devices to locate and electronically map defect coordinates on a semiconductor wafer. The electronic wafer map is currently developed for approximately 10-20% of all wafers and subsequently requires a human inspector to evaluate and characterize the state of the manufacturing process based on spatial signatures in the data.

A spatial signature is a unique pattern of defects on the wafer surface which is associated with manufacturing problems. For example, a certain pattern might reveal problems with a wafer handle (e.g., a scratch), or with contamination in a chemical vapor deposition process (e.g., a random or skewed particle distribution). There are many unique signatures associated with semiconductor processing which can be used as a guide to quickly characterize and improve manufacturing.

The problem with the current manual method of wafer map evaluation is due to the limited number of wafers that can be manually evaluated in a given period of time and to the lack of objective and repeatable conclusions which can be reached in the decision making process by human inspectors. In general, while there are numerous data gathering techniques, the tools for analyzing the data need improvement in ways that will increase throughput and efficiently diagnose process limiting yield issues.

## SUMMARY OF THE INVENTION

An object of the present invention is to provide a method and apparatus for spatial signature analysis which is capable of quickly and correctly evaluating wafer map data.

Another object of the present invention is to provide a method and apparatus for detecting

means for correlating the categorized, classified signature events to a present or incipient anomalous process condition.

19. An apparatus according to claim 18, wherein the categorizing means includes means for generating a grey-scale density image  $\rho_{ho}(x,y)$  from the data set and means for inputting the grey-scale density image to the classifying means.

20. An apparatus according to claim 19, wherein the density image is a composite of several overlaying events within the data set.

21. An apparatus according to claim 20, further comprising means for reducing the data set to simpler, non-overlapping or nearly non-overlapping sets that can be individually analyzed to assign the user-labeled signature events.

22. An apparatus according to claim 19, wherein the global events category is defined as including any unclustered single pixel events, the curvilinear category is defined as including any curvilinear and radial clustered events associated with wafer spinning processes and mechanical surface damage, polishing anomalies, the amorphous category is defined as including nonlinear, tightly grouped cluster events arising from various processes, including lithography, etch, watermarks, and particle stains, and the micro-structure category is defined as a collection of distributed single-pixel events which contain linear distributions of defects which reside on the image sub-pixel level and are related to small fine micro-scratching from chemical and mechanical polishing for wafer planarization.

23. An apparatus according to claim 19, further comprising means for forming a density image,  $\rho_{ho}(x,y)$ , and parsing the density image into two categories based on defect density values: low-density, potentially random events and higher-density, potentially, clustered events, thereby segmenting random defect distributions from other signature type events.

24. An apparatus according to claim 23, further comprising means for re-evaluating the low-density, random event image using a connectivity analysis to determine if some of the events should be removed and merged with the clustered-objects image.

25. An apparatus according to claim 24, further comprising means for moving the initial random events back into the clustered image if connected groups of low-density defect pixels are found.

## Description

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### 1. Field of the Invention

The present invention relates generally to semiconductor manufacturing processes and inspection, and more specifically, to a method and apparatus for classifying semiconductor process signatures for the purpose of allowing semiconductor manufacturers to quickly improve their product yields.

### 2. Description of the Related Art

The continued trend in semiconductor manufacturing towards higher density devices and larger wafer formats, along with the increased application of optical image-based defect detection and review workstations for process monitoring has generated considerable amounts of data to be evaluated by fab production personnel. This data is necessary to



and classifying patterns formed on semiconductor wafers.

Another object of the present invention is to provide a method and apparatus for processing wafer map information to provide a robust, non-subjective and repeatable signature identification which results in an enhanced ability to automate the operator pattern-search procedure. This, in turn, increases wafer map throughput and effectively reduces the number of defect locations required for re-detection during off-line, high-resolution review. This will lead to decreased time required to decreased time required to correct manufacturing problems which impact product yield.

These and other objects of the invention are met by providing a method of performing automated defect spatial signature analysis which includes the steps of producing a wafer map which includes data representing defect coordinates and wafer processing information, categorizing the data into a plurality of categories, each containing different types of signature events, and correlating a categorized signature event to a present or incipient anomalous process condition.

These and other objects of the invention will become more apparent from the following detailed description when taken in conjunction with the illustrative embodiments in the accompanying drawings.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is an example of a wafer map showing several spatial signatures, as a test wafer would appear on a computer screen or other display device associated with the apparatus of the present invention;

FIG. 2 is a flow chart showing processing steps for wafer map analysis according to the present invention;

FIG. 3 illustrates directional dilation of a set of curvilinear clusters as seen from a computer screen generated by the apparatus of the present invention;

FIG. 4 illustrates masks generated by one of the fuzzy-constraint modules, with frame (a) showing the original wafer map, (b) showing the curvilinear mask, and (c) showing the amorphous mask;

FIG. 5 shows the result of applying the masks of FIG. 4 to the original density image, and in particular, frame (a) shows the original wafer map, frame (b) shows the global or random defects, frame (c) shows the curvilinear clusters and frame (d) shows the amorphous clusters;

FIG. 6 illustrates a series of wafer maps from the same manufacturing lot;

FIG. 7 is a graph of event count versus after number, generated by the apparatus of the present invention and as displayed on a display device;

FIG. 8 is a flow chart of a program for implementing the present invention; and

FIG. 9 is a schematic view of a wafer fabrication process showing inspection points and analysis tools, with dashed lines representing control actions taken by fab personnel for modifying the process, sample plan, etc.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

The invention as described herein is an automated system for emulating the ability of an expert process engineer to view a picture of a wafer map, perform visual grouping and shape analysis, and then determine the health of the manufacturing process.

The method and apparatus of the invention can be implemented using a computer programmed as described hereinbelow. Initially, the defect data or "wafer map data" files are input into the system in either KLA-Results or Tencor-File (or any other suitable) format. The data is converted into an image which is analyzed using statistical and morphological techniques. Ultimate outputs are spatial signatures which fill into one of four event categories: global (or random) events, curvilinear events, amorphous events, or micro-structure events. These will be described in more detail below.

A general depiction of a wafer map is shown in FIG. 1. The figure shows several spatial signatures. The top of the map shows radial patterns attributable to a wafer-handling problem, the upper right shows particle contamination, and the lower left shows signs of mechanical damage which caused scratching.

Gray-scale images are created from the wafer map which have pixel-intensity values that represent the number of defects per unit area. The conversion of wafer maps pixel-intensity images applies a quadrature mapping (i.e., binning) of the defects into a density image. A fine-scale defect map can be generated at a user-selectable resolution. For example, a 512.times.512 pixel resolution represents a bin size of 390 .mu.m.times.390 .mu.m per pixel for a 200 mm diameter wafer.

FIG. 2 shows a flow chart for software used to implement the present system. A grey-scale density image .rho.(x,y), is generated from the electronic wafer map for processing. That density image can be considered a composite of several overlaying events within the wafer map data. The initial focus of wafer map signature analysis is to reduce the data set to simpler, non-overlapping (or nearly non-overlapping) sets that can be individually analyzed and finally classified to a user-defined class.

To accomplish this, four subgroups, into which a majority of all signature types fall, are defined. These high-level classes were determined to be optimal for this application after extended interviews with semiconductor fabrication personnel and an examination of several hundred wafer maps provided by Semiconductor Manufacturing Technology (SEMITECH) Consortium, of Austin, Tex., and its member companies. The classifications are defined as follows:

G(x,y)—global distribution—a logical grouping of unclustered single events associated with, for example, particle contamination in the manufacturing process;

C(x,y)—curvilinear distribution—curvilinear and radial clustered events associated with wafer spinning processes, mechanical surface damage, polishing anomalies, etc;

A(x,y)—amorphous distribution—nonlinear, tightly grouped cluster events arising from various processes, such as lithography, etch, watermarks, or particle stains; and

M(x,y)—micro-structure—a collection of distributed single-pixel events which contain linear distributions of defects. These defect distributions reside on the image sub-pixel level and are related to small, fine micro-scratching from chemical and mechanical polishing for wafer planarization.

Density sub-images are components of the original density and, therefore, obey the

conservation principle:

$$\rho(x,y) = G(x,y) + C(x,y) + A(x,y) + M(x,y)$$

The original density image,  $\rho(x,y)$ , is initially parsed into two categories based on defect density values: low-density, potentially random events and higher-density, potentially clustered events. This parsing is a first attempt to segment random defect distributions from other signature type events.

The low-density, random event image is then re-evaluated using a connectivity analysis to determine if some of the events should be removed and merged with the clustered-objects image. These initially random events may be moved back into the clustered image if connected groups of low-density defect pixels are found. For example, some shallow, short scratches will have a low density of defects per unit area, but will still appear as several connected pixels producing an elongated shape on the wafer map. This event is not a typical condition, but it does occur. Usually, non-random defects or clusters will have a high density of defects per unit area of the wafer.

The image for higher-density clustered events is binarized and operated on by a series of morphological processes. Those processes account for nearest-neighbor relationships as well as the relationship between large connected groups. Some standard dilation techniques are applied to the clustered image so that neighboring objects are grouped into single objects. Another effect of the dilation procedure, a morphological process, is to pull in some scattered defects around a single event. For example, a scratch will generate an elongated defect where the wafer was damaged. It will also scatter small particles of wafer material around the scratch.

Features of merged objects in the resulting image (area, elongation, compactness, proximity, etc.) are determined and then combined using fuzzy logic-type constraints. Output of the fuzzy constraint module then breaks the clustered event image into initial approximations of a curvilinear mask,  $M_{sub.C}(x,y)$ , and an amorphous mask,  $M_{sub.A}(x,y)$ . A "mask" is simply a binary image (values 0 or 1) used to filter out areas of the target image. Where the mask value is 0, areas are removed. The rest of the target image (where the value is 1) passes through. These masks are eventually used to generate the four final event images on a display device coupled to the computer.

Curvilinear processing requires a thorough understanding of the neighboring relationships between objects. Extensive study of wafer maps reveals that most elongated structures, such as scratches or radial events, consist of several disconnected segments. The algorithm must accommodate the segmented nature of elongated events when attempting to collect the segments realistically while maintaining object shape. The present invention directionally dilates objects based on the surrounding structure prior to the final feature measurement. The directional dilation technique is novel to this technique. Each object in the initial curvilinear mask,  $M_{sub.C}(x,y)$ , is measured to determine a direction of desired elongation for a selected object, based on the distance, size and number of neighboring objects. An analogy can be made to the gravitational pull of one planetary object to another—a large mass (or area) or a close proximity results in a stronger directional pull.

FIG. 3 illustrates directional dilation of a set of curvilinear clusters. In the (a) frame, there is shown a binary version of the distributed curvilinear-segmented cluster events. The (b) frame shows the resultant image following standard isotropic dilation, and the (c) frame shows the directionally dilated result. In the (c) frame, the resulting objects are connected along preferential growth paths and the morphological features are more indicative of the true shape of the original curvilinear events.

After the directional dilation is applied to the initial curvilinear image, several features of the new objects are calculated, including area, elongation, compactness, and proximity. These feature values then pass through a second fuzzy-constraint module to determine if any of the objects need to be removed from the curvilinear mask,  $M_{sub.C}(x,y)$ , and sent back into the amorphous mask,  $M_{sub.A}(x,y)$ . FIG. 4 shows the result of the process on a wafer map that has several curvilinear objects, a couple of amorphous patterns, and a scattering of random defects. Shown in sequence are the original wafer map in frame (a), the curvilinear mask in frame (b), and the amorphous mask in frame (c).

Once the final versions of  $M_{sub.C}(x,y)$  and  $M_{sub.A}(x,y)$  have been obtained, they are added together, and the complement of the result is taken to generate the final global mask,  $M_{sub.G}(x,y)$ . The final density images  $C(x,y)$ ,  $A(x,y)$ , and  $G(x,y)$  are then created by multiplying the corresponding mask by the original density image,  $\rho(x,y)$ . The output of the apparatus consists of three density images. The result of applying the masks of FIG. 4 to the original density image is shown in FIG. 5.

Distribution statistics are extracted from the global event image, and object feature measurements are extracted from the curvilinear and amorphous event images. That information is then fed into the following application areas: (1) clustering analysis for statistical process control ("SPC"); (2) intelligent sampling for off-line review, and (3) signature/process clarification.

SPC charts that monitor just the total defect count tend to vary widely in the presence of multiple defect events, such as scratches. Modified SPC that monitors different categories of spatial signatures separately from the random defect distributions will provide a more accurate picture of the health of the manufacturing process.

An example of the method and apparatus of the present invention is illustrated with reference to FIG. 6, which shows a series of wafer maps from the same manufacturing lot. They have a combination of random defects and a few clusters. Overall, however, the defect density across the wafers is low. FIG. 7 shows the plots of event count versus wafer number for both total defects and random defects after amorphous clusters were removed via data manipulation according to the invention. Conspicuously, the total defect count varies widely, because some of the small amorphous events that occurred on wafers x1, x2, and x8 have high defect densities. If those amorphous events are removed (or monitored separately) it is seen that the number of global or random defect events is consistently low.

The invention can be used to perform intelligent sampling of wafer defects for off-line review and automatic defect classification. Only a small sampling of the defects that are part of one process "event," or signature, need to be examined in detail for high resolution analysis.

The invention can also be used for on-line quality control. A system could automatically monitor wafer maps to look for process-specific signatures and then sound an alarm when anomalous conditions arise, thus, potential equipment problems can be identified before yield is affected. Furthermore, a system that not only sets an alarm, but also directs maintenance personnel to the specific piece of faulty equipment, would provide a key link in the cycle of problem emergence, identification and correction.

FIGS. 8(a)-(c) provide a detailed flow chart for the software implementation of the present invention, and is essentially an expanded and more detailed version of the flow chart of FIG. 2.

FIG. 9 shows a system for collecting and analyzing defect data in a production environment.

As wafers exit a fabrication process station "A" wafer map data is generated by an in-line defect detection workstation generally incorporating a microscopy or light-scattering system. A sampling plan is implemented which encompasses a small percentage of batch or "lot" of wafers (e.g., 20% of wafers in a given lot).

Once a wafer has been scanned by the instrument, its electronic wafer map is moved to a yield management system which includes a database where some level of automatic statistical process control may be used to count "events." Events are occurrences on the wafer which were sensed by the in-line defect detection tool and may arise from particle contamination, mechanical damage, process variations, or process excursions. The analysis, in the form of a computer program, counts events and develops trend data which can be used for prediction or to alarm operators when a process is going out of specification or when maintenance or calibration must be scheduled.

A smaller percentage of the wafer map data (e.g., 20% of the sampling plan, or one lot out of every five lots) will be manually inspected unless the statistical process control requires otherwise. The information in the wafer map consists of detected defect coordinates as well as process information such as step, layer, and product.

The existence of patterns in the wafer map data is typically observed manually by an operator viewing a plot of the coordinate points during analysis. The wafer map data may be combined or "stacked" across wafers in a lot or across lots to better view the evolution of process signatures which may assist in diagnosing manufacturing problems that may be too subtle on a per wafer basis. Also, a sub-sample plan may be developed during manual wafer map analysis prior to off-line, high-resolution defect review. Off-line review takes place on a microscopy workstation and attempts to classify the defect (i.e., discern the exact type and cause of the defect) by viewing, at high resolution (e.g., 0.01  $\mu\text{m}/\text{pixel}$ ), individual defect morphology, color, texture, or relationship to process or layer (e.g., extra-pattern due to an insufficient etch or lithography problem).

Typically, a coordinate map may contain several hundred to several thousand defects which must be manually reviewed and classified during off-line review. An event such as a large scratch may contain hundreds of individually detected defects all originating from the same cause. A pre-analysis of signatures on the wafer map can result in an efficient high resolution sampling plan which greatly reduces the number of defects which must be manually revisited.

The automated process of the present invention is achieved by at first pixelating the wafer map data to provide a defect density map where the intensity of each pixel is indicative of the defect density at that location. After pixelation, a series of local and global process steps are applied. Local processing uses the relationship between nearest-neighbor defects (distances on the order of 1  $\mu\text{m}$  to 10  $\mu\text{m}$ ) to initially group points into events. Global processing (distances on the order of 1 mm to 10 mm) uses the shape, size, and proximity of these initial event groups along with a grouping process referred to previously as directional dilation to further the clustering. The result is an electronic results file containing signature classification information and process statistics (e.g., event counts) which are used by the plant engineer to characterize the manufacturing process and improve product yield.

The automated analysis of the present invention can be used to solve a variety of industrial quality and metrology inspection problems. The methodology could be applied to any manufacturing process which results in distributed product defects arising from a common process cause. For example, it could be used to detect defects (similar to semiconductor defect creation mechanisms) in flat panel display manufacturing; inclusions and pinch roller damage defects in continuously formed sheet steel and aluminum; yarn defects, print registration, rotary screen defects in continuously manufactured/finished textiles; holes,

contamination and roller anomaly defects in continuously manufactured/finished paper products; bubbles, inclusions, and delaminations in continuously manufactured thin film materials; scarring, insect damage, and mechanical handling defects in leather tanning and finishing; and correction of low quality text representations in document processing and optical character recognition.

Although the invention has been described with reference to a particular embodiment, it will be understood to those skilled in the art that the invention is capable of a variety of alternative embodiments within the spirit and scope of the appended claims.

\*\*\*\*\*



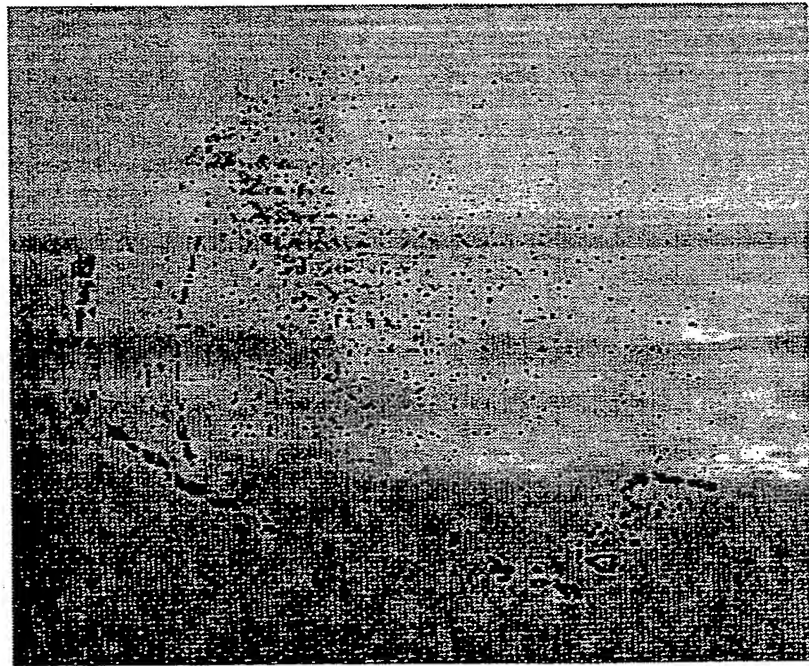


FIG. 1

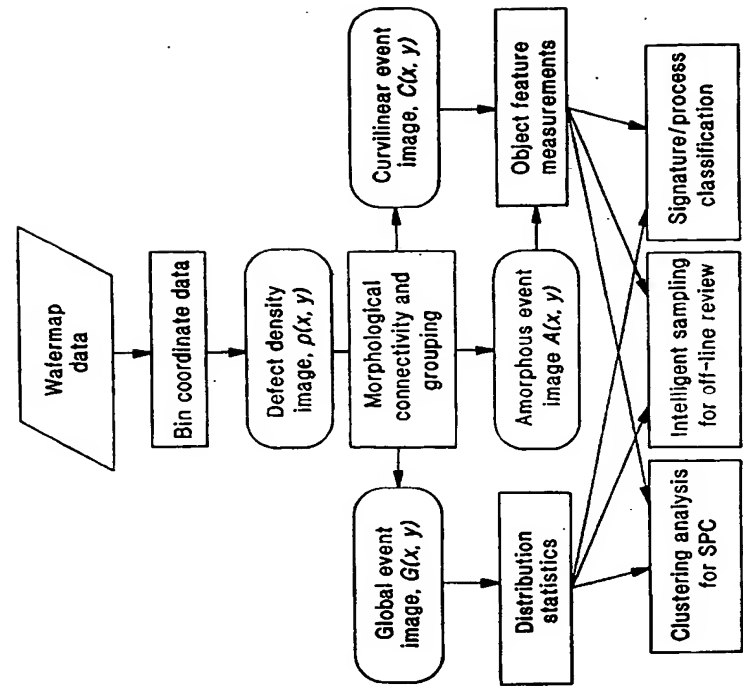


FIG. 2



FIG. 5A

FIG. 5B

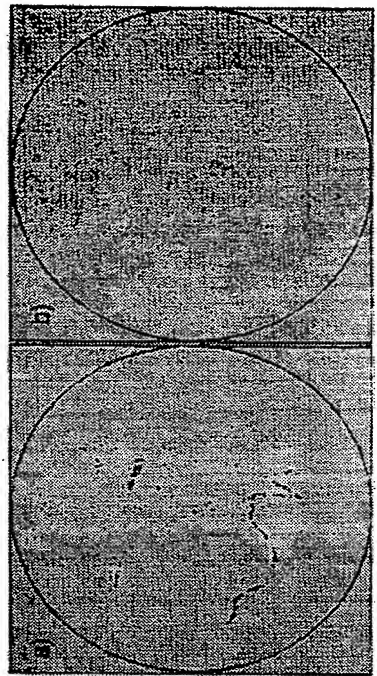


FIG. 5D

FIG. 5C

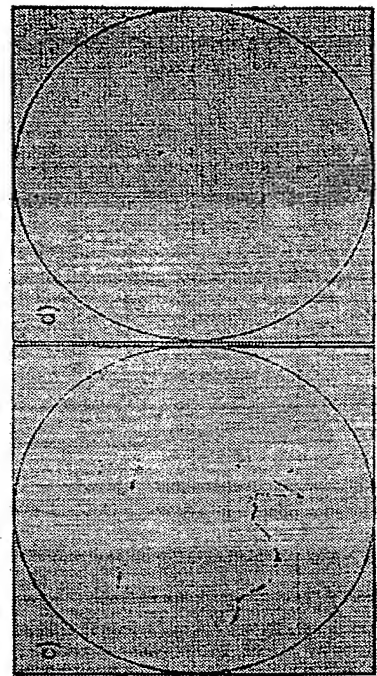


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

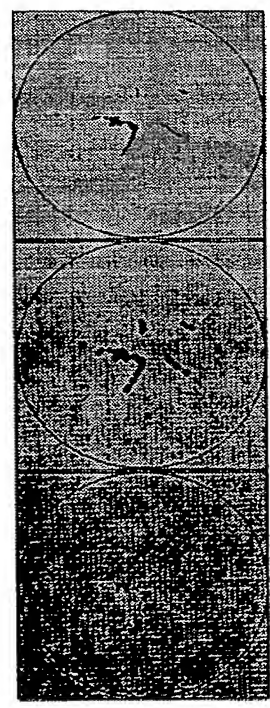
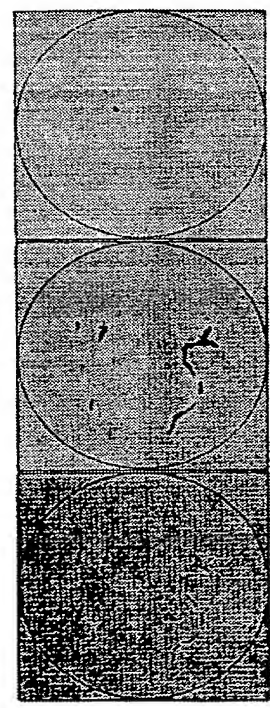


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C



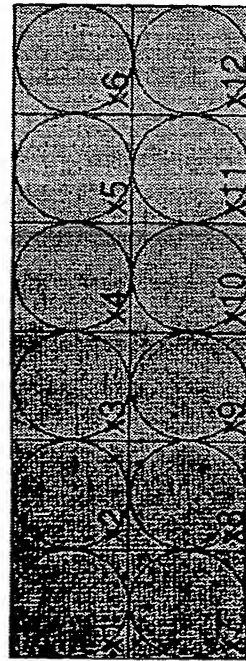


FIG. 6

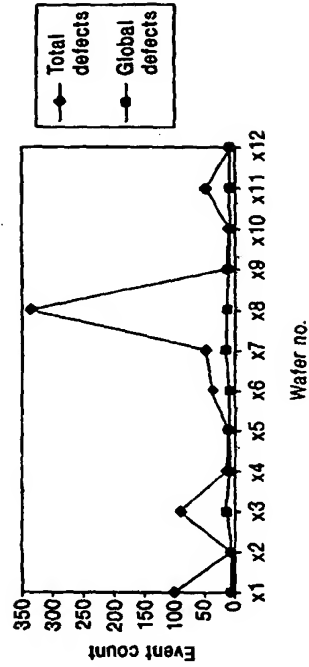


FIG. 7

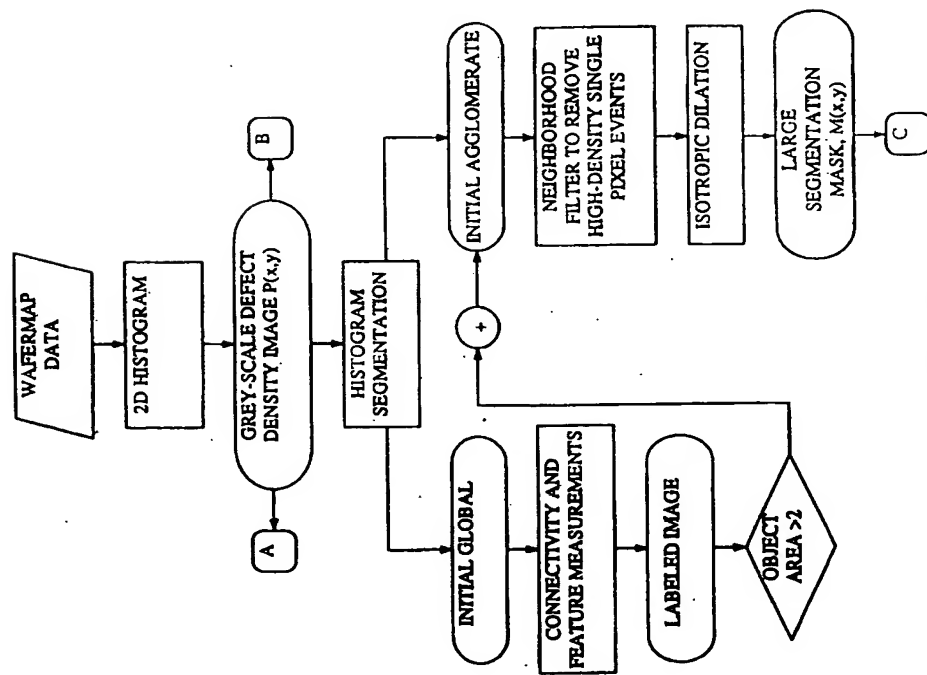


FIG. 8A

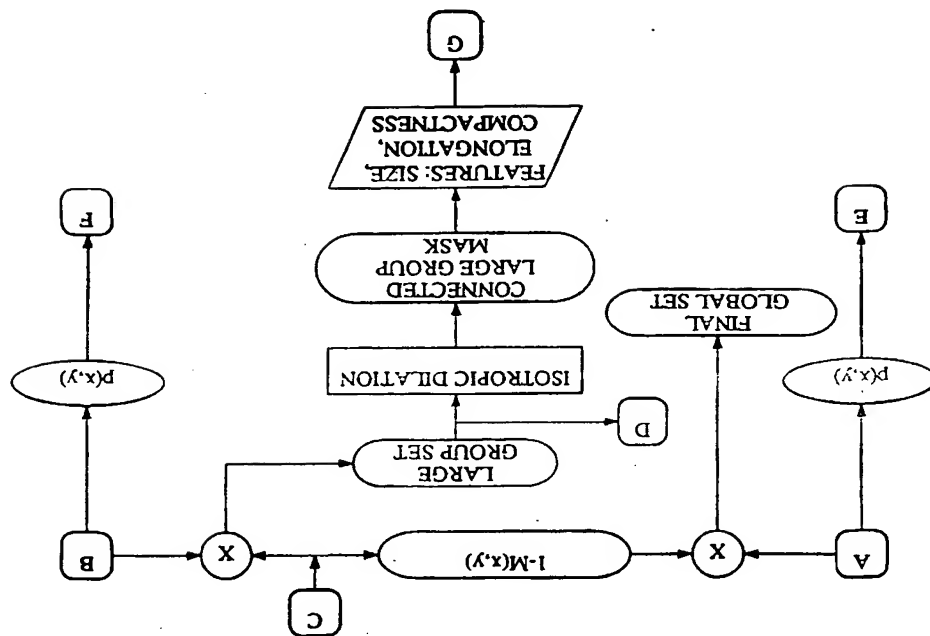


FIG. 8B

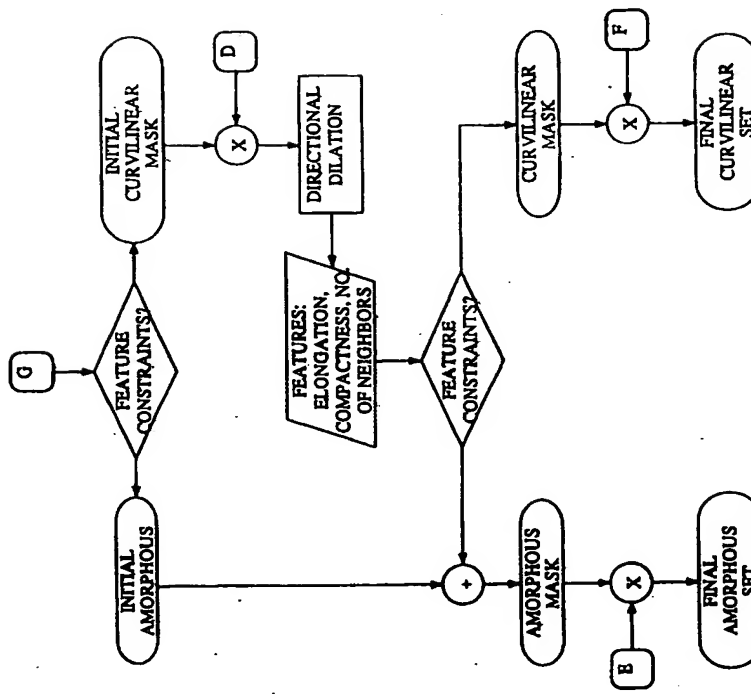


FIG. 8C

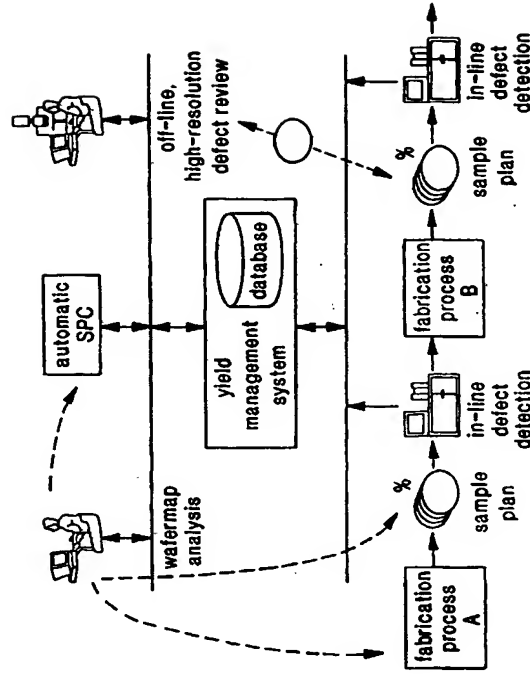


FIG. 9